

LES VARIATIONS PÉRIODIQUES DES GLACIERS

spécialement en ce qui concerne les

GLACIERS DU VALAIS (*)

Le phénomène dont nous désirons entretenir les lecteurs du Bulletin de la Murithienne est certainement un des plus intéressants et un des moins étudiés jusqu'ici, parmi ceux que nous offrent nos Alpes. Il est aussi un de ceux dont les conséquences pratiques peuvent être des plus sérieuses, puisque les glaciers constituent un facteur important des conditions du climat de notre pays et que leurs variations peuvent causer des perturbations considérables dans le régime des eaux ou être la cause de notables modifications dans les conditions de culture et de praticabilité de la montagne.

Le phénomène consiste en ceci, que le glacier varie conti-

(*) Pour ceux qui voudraient étudier cette question des variations périodiques des glaciers dans les mémoires originaux, nous donnons ci-après les titres des travaux que l'article ci-dessus analyse ou résume.

Ce sont avant tout :

F.-A. Forel. — Les variations périodiques des glaciers. Rapports publiés de 1881 à 1883 dans l'*Echo des Alpes* et dès lors chaque année dans le *Jahrbuch* du S. A. C.

• Même titre. — Mémoire présenté à la réunion de la Soc. helv. des Sciences naturelles à Thusis en 1899. (Donnant l'état actuel de la question.)

• et *E. Richter.* Même titre. Rapports de la Commission internationale des glaciers (Archives des Sciences physiques et naturelles, 1894-1900.)

En outre :

Richter. — Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher. Wien 1891.

Heim. — Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart. 1885.

nuellement de longueur, d'épaisseur et de largeur : son volume subit des changements plus ou moins profonds. Il ne s'agit pas seulement là des modifications annuelles, dues simplement à la fonte de la glace à l'extrémité du glacier et que chacun a pu aisément constater, mais de changements dont l'allure générale persiste pendant toute une série d'années.

Pendant 10, 20, 30 ans ou plus, le glacier avance, il refoule ses anciennes moraines, il envahit peut-être des pâturages, renverse même des forêts ou des granges ; puis tout à coup, sans cause apparente, ce même glacier commence à reculer, il diminue, se raccourcit et s'affaisse pour reprendre après 10, 20, 30 ans ou plus sa marche envahissante en avant et son irrésistible expansion.

A première vue, ces phénomènes semblent n'obéir à aucune règle : les maxima ne ramènent pas toujours les glaciers au même point et ces maxima ne sont pas séparés toujours par des intervalles de temps égaux ; enfin ils n'apparaissent pas simultanément sur tous les glaciers et souvent même des glaciers tout voisins varient dans des sens opposés.

Pourtant cette irrégularité n'est peut-être qu'apparente et une loi encore inconnue détermine sans doute ces mouvements.

Les observations relatives à ces variations des glaciers n'ont d'autre but que de chercher à la découvrir. Leur étude systématique remonte à 1881, année où M. le prof. F.-A. Forel de Morges a fait paraître son premier rapport sur les variations périodiques des glaciers ; ces rapports se sont succédé dès lors chaque année et paraissent depuis 1883 dans le *Jahrbuch* du S. A. C.

Avant les études de Forel, on n'avait sur ce chapitre des sciences naturelles que des documents isolés, des notes éparpillées ici ou là. On trouve quelques indications concernant ces phénomènes, et pour la région qui nous intéresse spécialement, dans les ouvrages de Venetz, Rion, Ruppen, Agassiz, Charpentier, pour ne citer que les plus connus. Les archives de certaines paroisses et de quelques communes renferment

aussi parfois des données de valeur, surtout si ces variations des glaciers ont été la cause de quelque catastrophe.

Depuis Forel, ce sont Heim, le géologue de Zurich, et surtout le professeur Richter de Graz qui ont fait de ces variations le sujet de leurs études. Ce dernier a établi entre autres un relevé très complet des documents relatifs aux variations des glaciers et les a soumis en même temps à une discussion très serrée.

Les résultats de ces recherches ont été tout de suite fort intéressants. Il en ressort en effet un parallélisme d'allure très frappant en ce qui concerne les glaciers des différentes parties des Alpes ; ils varient partout dans le même sens durant des périodes parfaitement déterminées, avec cette réserve toutefois que ces périodes sont plus ou moins longues suivant les glaciers et que, suivant les cas, le début des périodes est plus ou moins hâtif, leur fin plus ou moins tardive.

Il convient ici, avant d'entrer dans le détail de ces constatations, de donner quelques indications sur les glaciers eux-mêmes.

Les glaciers forment une masse semi-fluide, provenant de la transformation de la neige des névés. Ils s'écoulent lentement vers la vallée avec une vitesse très variable, toujours très lente, qui peut varier de 5 m. à 300 m. par an, en moyenne. Comme extrême on peut citer, le glacier du Grand-Karajak au Groënland, pour lequel E. de Drigalsky a déterminé un avancement de 20 m. en 24 heures, tandis que sur un certain parcours, le glacier du Rhône a pendant un an, montré une vitesse annuelle de 0 m. 30 soit de 0 m. 008^{mm} par jour, seulement.

Avec des vitesses variables, tous les glaciers s'écouleraient jusqu'à la mer en suivant la pente des vallées, si l'ablation résultant de la fusion ne venait leur tracer une limite. Cette ablation varie avec la température et l'humidité de l'air, par conséquent aussi avec l'altitude et l'exposition.

Le glacier est donc un fleuve de glace à courant extrêmement lent, qui prend sa source dans les névés et se transforme

en fleuve d'eau, à l'endroit où l'ablation arrive à transformer la glace en eau. Le point où cette transformation s'effectue, s'appelle la *langue* ou le *front* du glacier. L'altitude de ce point varie suivant les conditions dans lesquelles se font l'*alimentation*, l'*écoulement* et l'*ablation*. Ces conditions étant variable, le point où se trouve le front du glacier, variera aussi avec elles.

L'alimentation est variable, car le glacier est formé par les neiges qui s'accumulent sur les sommets des montagnes et donnent naissance aux névés qui s'écoulent lentement dans les vallées après leur transformation en glace. Or le névé sera d'autant plus épais et le débit du fleuve glacé sera d'autant plus considérable que les chutes de neige seront plus abondantes.

Le volume du glacier est donc en fonction directe de l'abondance des chutes de neige.

L'écoulement sera pour un même glacier, d'autant plus rapide que le débit sera plus considérable et par conséquent que les précipitations neigeuses seront plus abondantes. L'écoulement variera aussi avec la pente générale du glacier ; il variera encore entre autres avec la section transversale du glacier.

Le chapitre de l'écoulement est certainement un de ceux qui renferment le plus d'inconnues. La pesanteur joue évidemment là un grand rôle et le glacier glisse vers la vallée sous l'influence de son propre poids. A cela, il faut très probablement ajouter l'effet de la plasticité de la glace, surtout lorsque sa température est proche du point de fusion ; la liquéfaction intense du glacier sous l'influence de la pression, sans compter d'autres facteurs encore moins bien élucidés, qui agissent aussi pour entraîner le glacier dans sa marche lente depuis le névé jusque dans la vallée.

L'ablation est variable aussi ; elle commence lorsque le glacier arrive dans une région où la chaleur de l'été suffit à fondre la glace. Une partie de la surface extérieure du gla-

cier, de ses bords, de son front, se transforme en eau qui vient alimenter le torrent. La couche de glace ainsi détruite varie avec la chaleur de l'été. Cette ablation augmente d'intensité à mesure que le glacier descend dans la vallée et reste exposé plus longtemps aux rayons du soleil : elle dépend donc de l'altitude et de l'exposition.

Comment ces trois facteurs : alimentation, écoulement et ablation, se *combinent-ils* pour amener des variations dans l'état d'avancement des glaciers ?

Autrefois on regardait la température de l'été comme le facteur immédiat des variations glaciaires. On estimait que le *retrait* des glaciers était un état anormal dû à de grandes chaleurs estivales ; on estimait que la *crue* des glaciers en marche, était un autre état anormal, conséquence d'une série d'étés froids.

Aujourd'hui on sait que les mouvements des glaciers dépendent avant tout de l'alimentation, soit de l'écoulement. Un fait déjà le prouverait : la loi de longue périodicité dans le sens de la variation. Pendant une longue série d'années, la température moyenne de l'été ne reste jamais identique : elle doit varier dans un sens ou dans l'autre et l'ablation doit varier par conséquent. Si malgré cela, l'allure générale du glacier reste la même, c'est évidemment que l'alimentation et l'écoulement prédominent.

Lorsque la vitesse d'écoulement diminue, il arrive bien un moment où la valeur de l'ablation prédomine ; mais si cette vitesse augmente, la valeur de l'ablation peut à un moment donné devenir une quantité négligeable.

On peut donc dire d'une façon générale qu'il y a crue, si le débit du glacier augmente, mais que si ce débit ne peut compenser la quantité détruite par l'ablation, le glacier fond sur place.

La chaleur de l'été et l'abondance des chutes de neige sont des quantités variables, changeant de jour en jour, d'année en année, de période en période. En ce qui concerne ces derniè-

res, le professeur Brückner, dans son livre des « Klimaschwankungen » a évalué ce cycle à 35 ans environ. Il ne saurait donc être question d'un avilissement progressif du climat comme on a souvent voulu l'admettre autrefois, mais il s'agit d'une succession à peu près régulière de 25 années durant lesquelles la chaleur et la sécheresse ou l'humidité et le froid sont plus élevés que la moyenne, et de 35 années durant lesquelles ces facteurs n'atteignent pas la moyenne.

Les deux facteurs opposés, — chaleur et humidité — agissent de façons fort peu différentes sur les glaciers. L'alimentation du glacier, résultat de l'humidité se fait surtout dans les hautes régions, sur les névés ; ce n'est qu'au bout de longues années que la glace partie des hauts sommets arrive à l'extrémité du glacier. Au contraire, la liquéfaction du glacier, résultat de la température, se fait à la partie inférieure, à l'extrémité du glacier, c'est-à-dire, justement là où nous observons les variations de grandeur.

Les variations résultant de l'alimentation ont donc des causes dont l'origine doit être cherchée dans les années écoulées : la liquéfaction, au contraire, a des causes immédiates, actuelles. L'alimentation et la fusion combinées donnent naissance à deux ordres de variations périodiques glaciaires et ces deux ordres de variations ont des périodicités différentes.

1° Il existe des variations de *périodicité annuelle*, observées pour la première fois sur le glacier du Rhône, grâce aux mesures régulières qui s'y font. Un glacier à l'état stationnaire présente une crue temporaire en hiver (d'octobre en mai), par suite de la persistance de l'écoulement et de l'annulation de la fusion : en été, la fonte devient plus importante et la décrue l'emporte de nouveau. Si le glacier au lieu d'être stationnaire est en crue ou en décrue, cette période annuelle se traduira par une accélération ou un ralentissement de la variation générale dominante.

L'action de *fusion* est donc là prépondérante.

2° Il existe des variations cycliques de *périodicité plus longue*, 35 ans peut-être, qui sont dues, dans leur phase de crue, à une poussée en avant, à un débordement du fleuve glacé,

alors même que les étés chauds permettraient une fusion considérable. Dans la phase de décrue de cette période, le glacier persiste à diminuer, alors même que des étés froids et humides atténueraient beaucoup l'importance de la fusion.

Cet ordre de variation est dû à des modifications dans la production de la glace ; c'est la conséquence d'un excès ou d'un déficit dans l'apport de glace. Le *débit* du courant est là le facteur prédominant.

Quelle est la cause de ces variations dans le *débit* des fleuves de glace ?

Ce doit être les variations dans *l'importance des chutes de neige* sur les névés. Les névés sont les sources du glacier ; s'ils augmentent ils fourniront plus de glace au glacier.

Les crues du névé doivent précéder les crues du glacier et leurs variations se manifester dans des périodes semblables. Le nombre des périodes de grande glaciation paraît être le même que celui des périodes d'années humides et froides telles que Brückner les a déterminées.

On peut constater qu'une augmentation évidente de l'épaisseur du glacier dans sa partie supérieure précède de quelques années l'accroissement en longueur. Non seulement cela, mais ainsi que le fait très justement remarquer F.-A. Forel, on a souvent signalé, durant les grandes périodes de retraite des glaciers, une disparition manifeste des névés et des flaques de neige sur les hautes cimes. Les alpinistes connaissent ces faits par expérience : dans un passage autrefois facile, où la neige permettait une marche rapide, la disparition de cette neige rend parfois tout à coup, pendant une ou plusieurs années, ce passage difficile en mettant à nu des rochers. Les conditions dans lesquelles se font certaines courses ou ascensions sont ainsi sérieusement modifiées.

En revanche, en même temps qu'on signale une période d'allongement des glaciers, l'enneigement semble aussi progresser, les névés augmentent, les coupoles de neige s'épaississent.

Plusieurs anciens documents permettent d'affirmer qu'au-

jourd'hui on gravit, en grimpant le long d'arêtes rocheuses, bien des sommités où l'on ne parvenait autrefois qu'en taillant la glace et en enfonçant dans la neige. Au commencement du siècle, le contraire avait lieu : on se plaignait alors de l'envahissement par la neige et les glaciers.

Au reste, la grandeur de ces variations dans l'altitude de la ligne de neige et l'altitude moyenne de cette ligne sont encore des inconnues pour nous : seules de nombreuses observations pourront servir à les résoudre.

Nous avons vu que l'état d'allongement du glacier dépendait de la mesure dans laquelle il s'alimentait et de l'importance de la fusion de la glace. Etant fournies ces données du problème, quelle est l'équation d'après laquelle nous combinerons ces valeurs pour avoir la *théorie des variations glaciaires*, quelles sont les relations d'enchaînement entre les variations périodiques du climat et la crue ou la décrue des extrémités des glaciers ?

Nous l'ignorons encore, et il y a dans ce chapitre nombre de points d'interrogation. Nous ne savons même pas à l'heure qu'il est, comment se fait *l'écoulement* de la glace le long du glacier. Nous savons que la crue du névé précède la crue du glacier, mais *comment* la crue du névé produit-elle la crue du glacier ? il y a deux théories en présence : celle de l'écoulement intermittent représentée par M^r le prof. Richter, celle de l'écoulement continu, représentée par M^r F.-A. Forel.

Pour M. Richter, l'épaississement du névé n'a d'abord aucune influence notable sur le débit du glacier : la résistance de la masse du glacier est si forte que cette surcharge ne peut la vaincre. Mais les neiges s'accumulent et il arrive un moment où la pression sera assez forte pour surmonter le frottement et les résistances : le glacier fait une poussée en avant et nous avons une phase de crue. Alors bientôt, le débit dépasse la quantité de neige tombant sur le névé ; la source s'épuisant, la crue cesse, et comme le glacier s'immobilise, la fonte sur place, la décrue commence.

Le glacier serait ainsi un courant *intermittent*. La crue du glacier terminée, le névé serait à son minimum d'épaisseur ; les chutes de neige s'accumulant alors à nouveau, elles arriveraient peu à peu à une épaisseur suffisante pour que leur pression occasionne une poussée en avant, une nouvelle crue.

L'état météorologique de l'air, l'intensité plus ou moins grande des précipitations atmosphériques ne seraient ainsi pas la cause des variations glaciaires, mais seraient simplement la cause de leur espacement plus ou moins considérable. Le glacier serait donc une *avalanche* et obéirait aux mêmes lois.

Pour M. Forel en revanche, l'écoulement du glacier serait en quelque sorte proportionnel au poids des neiges supérieures. Les variations d'épaisseur n'agiraient que sur la rapidité de l'écoulement. On n'aurait donc ainsi que de faibles variations de débit, mais elles s'amplifient tout le long du glacier, grâce à la destruction de la glace par la chaleur. L'ablation est d'autant plus faible que la vitesse d'écoulement est plus forte et que le glacier par conséquent, y reste moins longtemps exposé.

L'ablation croît donc en raison inverse de la vitesse ; le produit de ces deux valeurs peut devenir considérable et de petites variations dans l'épaisseur du névé peuvent ainsi expliquer de grandes crues et décrues.

C'est là, la théorie de l'écoulement *continu* du glacier, qui rapproche les mouvements des glaciers de ceux des *fleuves d'eau*. F.-A. Forel compare les glaciers aux fleuves du Sahara, qui descendent de l'Atlas et vont se perdre dans le sable. Pendant la saison sèche, leurs dimensions sont minimes. Lorsqu'ils sont grossis par les pluies de l'hiver, ils font une poussée en avant dans le désert. Mais diverses causes de destruction agissent sur eux ; l'évaporation et l'imbibition qui leur enlèvent un peu de leur eau pour la rendre à l'atmosphère ou la faire pénétrer dans le sol. Ces deux causes agissent continuellement, tandis que l'alimentation n'est que temporaire : elle cesse avec la saison des pluies. Aussi le

fleuve s'arrête-t-il bientôt ; il décroît après avoir fait ainsi une crue rapide en longueur.

Heim se rattache à la théorie de Forel, au moins dans ses grandes lignes.

Chacune de ces théories semble expliquer quelques-uns des phénomènes constatés dans les variations des glaciers. De nouvelles recherches sont nécessaires pour permettre d'adopter définitivement l'une ou l'autre.

Cette question de l'écoulement a besoin d'être encore approfondie.

La marche du phénomène que nous étudions — les variations glaciaires — est donc la suivante :

1° Le *névé* s'accroît, son épaisseur augmente.

2° Le *glacier* augmente d'épaisseur ; ce phénomène débute dans le haut du glacier et se propage de haut en bas.

3° Le glacier augmente de *largeur* ; ce phénomène se propage comme le précédent. En même temps les moraines latérales sont refoulées.

4° Le glacier *s'allonge* ; il refoule sa moraine frontale.

La phase de *crue* débute avec l'allongement du glacier : tout ce qui précède n'en forme que les symptômes précurseurs. Tant que dure la crue, le glacier est dans une phase d'activité ; les crevasses sont nombreuses, les chutes de séracs et de pyramides de glace sont fréquentes, les vieilles moraines sont bouleversées et il s'en forme de nouvelles.

La durée de la phase de crue varie pour chaque glacier et il n'y a pas simultanéité dans l'époque des maximas.

La phase de *décrue*, de repos, se manifeste aussi d'une façon très visible : la vitesse se ralentit, elle devient même complètement nulle à la langue du glacier. Devenant immobile, ne s'alimentant plus, le glacier se détruit sur place. Enfin il commence à décroître, il s'éloigne de ses moraines, son front se retire vers le haut de la vallée, ses flancs se resserrent sur le thalweg, le glacier s'affaisse, les crevasses se ferment, les aspérités s'égalisent. Le glacier autrefois était vivant, mainte-

nant il est mort ; il semble n'être plus qu'un bloc de glace qui fond.

Cette phase de décrue peut aussi durer plusieurs années.

Voyons comment *l'allure de ces variations* s'est comportée jusqu'ici, autant du moins que les documents existants permettent de la reconstituer.

Pour les siècles précédents, nous nous basons sur les tableaux de Brückner en ce qui concerne les séries d'années humides et froides, et sur ceux de Richter, reposant en partie sur des données recueillies par F. A. Forel, pour les périodes de crue générale des glaciers.

Brückner a établi ses chiffres d'après la date des vendanges, la hauteur des lacs, la quantité de glace charriée par les fleuves.

RICHTER		BRUCKNER	
Début de la crue des glaciers.	Période humide et froide correspondante.	Périodes froides.	Caractère de la crue des glaciers.
1592	1590-1600	1591-1600	Crue intense et rapide des glaciers.
1630	1625-1630	1611-1635	Crue peu importante.
1675	1670-1675	1646-1665	Crue intense et simult. dans toutes les Alpes.
1712	1705-1715	1691-1715	Peu caractérisée.
1735	1730-1745	1730-1750	Faible mais de longue durée.
1767	1765-1770	1765-1775	Arrêt intense.

Pour le dix-neuvième siècle, ces périodes s'établiraient comme suit :

LANG

Heim.	Pluies.	Chaleur de l'air.
1811-1822. Crue des glaciers	1811 Maximum	1805 Maximum.
1822-1840. Décrue	1826 Minimum	1816 Minimum.
1840-1855. Crue	1846 Maximum	1831 Maximum.
1855-1880. Décrue	1866 Minimum	1839 Minimum.
	1880 Maximum	1864 Maximum.

Richter et Bruckner arrivent aux dates suivantes :

	BRUCKNER			RICHTER
	D'après les vendanges.	D'après la glace des fleuves.	D'après le niveau des lacs.	D'après les crues des glac.
Pér. hum. et froide	—	1806-1820	—	1818-1835
» sèche et chaude	1821-35	1821-1830	Vers 1835	1810-1817
» hum. et froide	1836-55	1831-1860	Vers 1850	1836-1855
» sèche et chaude	1856-75	1861-1880	Vers 1865	1855 —

D'après F.-A. Forel, pour les glaciers suisses, nous aurions les dates suivantes :

1811-1816 (ou 22) Crue.

1818-1820 Grand maximum.

1820-1830 Légère décrue. (?)

1830-1850 Allures contradictoires.

1855 Maximum.

1856-1900 Décrue.

1875-1892 Crue partielle de quelques glaciers suisses.

En somme, on voit que ces tableaux coïncident dans leurs grandes lignes et permettent de conclure à l'existence de périodes climatiques suivant lesquelles varient les principaux facteurs du climat : température et précipitations atmosphériques. Ces variations seraient en quelque sorte enregistrées, grâce aux variations parallèles que subissent la date des récoltes, la hauteur des lacs, l'importance des glaces charriées par les fleuves — et les crues des glaciers.

L'intervalle séparant les périodes de Brückner varie, mais dans des limites relativement restreintes ; il est de 20-45 ans environ, et de 35 ans en moyenne. Richter avait cru reconnaître pour les glaciers l'existence d'une période identique de 35 ans environ.

Forel a serré le problème de plus près, en ce qui concerne les glaciers alpins. Il a tout d'abord constaté l'inégalité des deux phases composant la période et donne les moyennes suivantes :

Phase de crue : 10,5 ans.

Phase de décrue : 27,4 ans.

Période entière : 37,9 ans.

Nous avons déjà vu que cette inégalité des deux phases de la période s'explique théoriquement, soit qu'on admette l'écoulement continu, soit qu'on se rattache à Richter et à sa théorie de l'écoulement intermittent.

Mais Forel a constaté en outre que tous les glaciers ne réagissent pas la même chose ; il a manqué parfois une ou plusieurs périodes dans le tableau des variations de certains glaciers. Parfois la période ne se traduit pas par un changement de signe dans la valeur de la variation : la décrue peut se manifester sous forme d'une diminution de l'allongement ; la crue sous forme d'une diminution dans le retrait du glacier.

Il donne pour le 19^e siècle, par exemple :

Glaciers à une période dans le siècle : Glac. de l'Aar, maxim. vers 1870.
 „ deux „ „ „ „ du Rhône „ en 1820 et 1855.
 „ trois „ „ „ „ du Trient, des Bossons, de
 Zigiorenove : Maxima en 1820, 1855 et 1892.

Un autre fait mis en lumière par le même observateur, consiste dans l'apparition successive des phases de crue.

Quelques glaciers isolés débutent, puis la généralité entre en crue.

La crue qui se manifeste au Trient et à Zigiorenove en 1879 ne se montre au Glacier de Fee qu'en 1880
 à Argentièrre, aux Grands en 1884
 à Allalin en 1890
 à Arolla et Ferpècle en 1892

Cela ne doit pas nous étonner ; nous savons que la crue est due avant tout à la neige tombée sur le névé ; or la longueur du voyage que doit faire cette neige le long du névé, jusqu'au front terminal du glacier, varie suivant les glaciers, et la vitesse du voyage n'est pas partout identique non plus. L'opposition même des mouvements de deux glaciers voisins n'a rien ainsi de surprenant.

La phase de décrue, en revanche, commence souvent simultanément dans l'ensemble d'une région. Si cela a lieu, c'est que la fusion a été assez forte pour l'emporter sur la valeur de l'alimentation, cela à la suite d'un été sec et chaud ; si cette

décruée persiste, c'est que le glacier ayant en même temps diminué d'épaisseur, l'alimentation diminue durant les années suivantes, alors même que les étés seraient moins chauds.

Dans d'autres cas, la décroissance est successive ; c'est qu'elle a lieu alors par extinction de la poussée de crue : l'action négative de la fusion n'est là pas prédominante.

Comme exemple du premier cas, Forel cite les maxima de 1855 et de 1892, suivis d'une décroissance générale en 1856 et 1893. Comme exemple du second cas, nous avons un maximum se manifestant successivement de 1818-1826 sur les divers glaciers : 1818, Rhône, Giétroz ; 1819, Argentières, Bies ; 1820, Allalin ; 1824, Fee ; 1836, les Bois.

Au reste, malgré ces similitudes d'allures dans la marche générale du phénomène, il faut considérer chaque glacier comme ayant une individualité propre qui reste toujours manifeste.

Ces variations dans la longueur du glacier n'ont rien de commun avec la question encore souvent discutée, d'un changement durable du climat. Au contraire, toutes les observations qui nous sont parvenues montrent que ces variations sont en somme assez minimes et s'évaluent par centaines de mètres au plus. Si les glaciers n'ont pas atteint depuis longtemps leurs moraines les plus avancées que l'on connaisse, ils n'en ont été séparés souvent que de quelques dizaines de mètres, en sorte que les différences sont insignifiantes. Toutes les variations historiquement connues appartiennent à un même ordre de phénomènes. Il ne s'agit donc pas là de variations pouvant expliquer une période glaciaire, telle que la terre en a connu dans des époques géologiques antérieures. Ces variations ne peuvent pas même se rapporter, semble-t-il, à celles qui ont laissé autour de nos glaciers, des moraines dont on retrouve les vestiges aujourd'hui, mais qui témoignent pour eux de dimensions doubles ou triples que celles qu'ils ont maintenant. Ces crues préhistoriques doivent vraisemblablement être des phénomènes d'un autre ordre.

Voyons maintenant quels sont les *résultats* que nous sommes

en droit d'attendre de l'étude suivie de ces variations dans les dimensions des glaciers?

Cette étude doit tout d'abord satisfaire une curiosité bien légitime, celle de savoir le pourquoi et de déterminer les lois d'un phénomène souvent grandiose, toujours intéressant, qui se déroule sous nos yeux. Nous savons bien déjà qu'il y a une relation entre ces variations et les faits météorologiques, mais nous ne savons encore quelle est cette relation; si c'est la chaleur ou l'humidité qui est le facteur prédominant? Si les phénomènes météorologiques dont nous constatons l'effet, se sont passés dans les années immédiatement précédentes ou s'ils se sont accomplis il y a bien des années, alors que la neige arrivant aujourd'hui sous forme de glace à la langue du glacier, tombait comme neige sur les hauts nêvés?

Le géologue pourra avoir quelque intérêt aussi à la solution de ce problème. Les données recueillies ainsi serviront peut-être à élucider les causes de l'envahissement par les glaces de certaines régions alpines, à diverses époques géologiques; en outre, l'action des grands glaciers a été si profonde sur le modelé de la surface du globe que la connaissance de leur régime doit pouvoir expliquer bien des faits. Enfin, la météorologie pourra aussi tirer profit des données obtenues. Les variations des glaciers ont très certainement pour causes des variations météorologiques; et il sera intéressant de savoir si ces phénomènes sont simultanés ou alternants sur les diverses parties du globe. Selon que ces variations sont universelles ou successives dans les diverses régions de la terre, nous pourrons en conclure que la cause des variations de climat est cosmique et extérieure à la terre ou bien d'origine terrestre et se compensant dans les diverses parties du globe.

Pour ceux-là enfin que les problèmes scientifiques n'émeuvent pas, la portée pratique de ces recherches les engagera peut-être à s'y intéresser; or l'utilité réelle de l'étude de ces variations glaciaires ne saurait être méconnue, dans le Valais surtout.

Il suffit de rappeler que le Rhône, de ses sources au lac

Léman, reçoit toutes les eaux du Valais. Son bassin de réception est calculé à 5220 km², dont 933 km². soit le 18 %, sont des névés et des glaciers. (Chiffres établis par le bureau hydrométrique suisse, d'après les cartes de l'atlas topographique levées ou revisées depuis 1870.) Les glaciers forment donc une part considérable du bassin d'alimentation des cours d'eau valaisans et le régime de ces eaux peut subir des modifications importantes suivant que ces glaciers croissent ou diminuent. Ces modifications de surface peuvent atteindre en effet, des chiffres fort élevés; les variations de surface du glacier du Rhône, — le seul dont on ait des mesures exactes — le prouveront aisément. Nous donnons ci-dessous, l'étendue de la surface mise à nu chaque année depuis 1882 au front du glacier du Rhône. Dès cette date, il ne s'est manifesté aucune crue

Surface mise à découvert chaque année.		Surface mise à découvert chaque année.	
1882	24 500 m ²	1891	3 100
1883	11 400	1892	520
1884	13 850	1893	8 050
1885	5 675	1894	14 800
1886	6 300	1895	8 230
1887	7 125	1896	4 900
1888	6 950	1897	3 480
1889	6 800	1898	2 280
1890	4 100	1899	2 220

En estimant à 5 km² environ, la superficie du glacier du Rhône, nous voyons qu'elle a diminué de 1882-1899, de 134 280 m², soit du 2 % environ. De 1856-1880, la décreue avait été encore plus forte: le glacier avait perdu alors 8 % de sa superficie, ce qui représentait une fusion annuelle d'environ 7 000 000 m³ de glace.

Mais ni les moraines de 1852, ni celles de 1882 ne forment les moraines les plus avancées du glacier du Rhône.

Le maximum absolu du glacier paraît avoir été atteint en 1677 et les moraines terminales les plus avancées existant aujourd'hui sont celles de 1818.

Si nous voulions calculer d'après celles-ci l'amplitude des variations du glacier du Rhône, nous arriverions encore à un pour cent beaucoup plus considérable, comme représentant la valeur des modifications de surface sous l'influence du phénomène étudié.

De telles variations doivent avoir une importance considérable sur le débit du Rhône en tout cas, mais aussi sur les conditions d'alimentation et d'écoulement.

Tous les glaciers montrant souvent des variations identiques et simultanées, le régime hydrographique d'une région est ainsi soumis à des modifications considérables.

Mais surtout, ces variations glaciaires ne se font pas toujours d'une façon paisible et calme ; souvent elles sont la cause directe ou indirecte de catastrophes et de désastres. Le Valais en a souvent souffert. Or toutes les observations faites jusqu'ici tendent à prouver que la période de crue est la plus dangereuse pour les glaciers, celle où les catastrophes dont ils sont la cause sont les plus fréquentes et les plus désastreuses.

En voici quelques exemples, tirés des documents réunis par F. A. Forel et Richter.

1595, 25 juin et 1818, 16 juin. Le glacier de Giétroz est en crue ; une partie du glacier s'éboule dans la Dranse et est la cause d'une inondation.

1633. Le 21 août, le lac de Mattmark fait irruption dans la vallée de Saas. Une crue du glacier d'Allalin avait formé un barrage derrière lequel les eaux s'étaient accumulées. Cette digue s'était rompue.

1636. Randa dans la vallée de la Viège est détruit par une avalanche de glace, conséquence de la crue du glacier de Bies (Weisshorn).

1680 et 1772, 17 septembre. Irruption du lac de Mattmark.

1736 et 1786. Chutes de glace à Randa provenant du glacier de Bies.

Quelques-unes de ces catastrophes glaciaires qui se répétaient plus fréquemment et causaient des dommages impor-

tants ont nécessité des travaux spéciaux de défense. Nous en avons plusieurs exemples en Valais.

C'est tout d'abord le *lac de Mürjelen*. Son écoulement se faisait en général insensiblement, par le glacier d'Aletsch, dans la Massa. Mais de temps en temps le lac se vidait subitement et descendait à travers ou sous le glacier d'Aletsch pour aller inonder la plaine du Rhône en aval de l'embouchure de la Massa. Si une irruption avait coïncidé avec une crue du Rhône, le désastre aurait pu être considérable et la correction du Rhône aurait été sérieusement mise en danger. Aussi a-t-on creusé une galerie destinée à abaisser le niveau du lac et à lui donner un écoulement continu dans la vallée de Fiesch. Sa percée date de 1896. La dernière irruption du lac avait eu lieu le 24 septembre 1895. Les précédentes avaient eu lieu entr'autres en 1882 (9 — 10 juin), 1883 (janvier), 1884 (août) 1887 (3 et 4 septembre), 1889 (24 juin), 1890 (25 juillet) enfin en 1892, 1894 et 1895.

Les crues du Rhône, conséquences de ces irruptions étaient souvent considérables. Celle du 9 juillet 1892 en particulier, a été enregistrée par le limnigraphe de Sion. A une heure, le limnigraphe marquait ce jour-là 5 m. 22 : le 10 juillet après l'irruption qui avait eu lieu à une heure du matin, le limnigraphe atteignit le maximum de 6 m. 60 : le Rhône recommençait alors à baisser et reprenait à une heure de l'après-midi, sa hauteur normale.

Les irruptions du *lac de Mattmark* sont aussi des catastrophes d'origine glaciaire. Le glacier d'Allalin, quand il est à un certain état d'allongement, barre le lac dont les affluents proviennent des pentes environnantes. Ces eaux se rassemblent derrière la paroi de glace qui finit par céder à leur pression et le contenu du lac se précipite dans la vallée. En général, le désastre s'est limité au parcours de la vallée de la Viège. On connaît des irruptions de ce lac, entre autres en 1633 (21 août), 1680, 1740, 1772 (17 sept.).

On n'a fait jusqu'ici aucun travail définitif pour empêcher le retour de ces catastrophes ; lorsque c'est nécessaire, on entaille un canal d'écoulement sous la moraine.

La vallée de la Viège de Zermatt a été souvent ravagée par des catastrophes d'origine glaciaire, sans que jusqu'ici on ait trouvé le moyen par des travaux appropriés, d'en empêcher le retour. C'est le cas particulièrement des glaciers de Bies (Randa) et de Weingarten (Täsch).

Les catastrophes de l'*Altels* sont aussi d'origine glaciaire et quoiqu'aucun travail de défense n'ait pu être entrepris pour en faire disparaître la cause, qui du reste est encore à élucider, elles méritent bien une mention à cette place. En 1782 déjà, ce glacier avait donné lieu à une avalanche de glace désastreuse! Le 11 septembre 1895, nouvelle avalanche : à 5 h. du matin, une rupture du glacier ensevelissait sous ses décombres, 6 hommes et 160 têtes de bétail, dévastait 10 hectares de forêts, recouvrait complètement de 3—4 mètres de glace, un pâturage de 100 hectares environ.

En ce qui concerne le glacier de l'*Altels*, il y a lieu cependant de remarquer que les ruptures auxquelles il est sujet semblent être plutôt la conséquence d'un excès de température, que le résultat d'une variation de longueur.

La vallée de Bagnes semble être particulièrement exposée aux dégâts causés par les glaciers. Ce sont les glaciers d'Otemma et de Crête-Sèche et celui de Giétroz qui sont surtout la cause de ces accidents

Le 25 juin 1894, le 18 juin 1895, le 17 juillet 1898 la vallée de la Dranse était ravagée par des crues dévastatrices dues à la rupture d'un lac temporaire qui se forme périodiquement à la jonction des *glaciers d'Otemma et de Crête-Sèche*. Ce dernier se soude presque à angle droit au glacier d'Otemma et s'appuie contre la moraine latérale. En général, le glacier de Crête-Sèche s'écoule au pied de cette surélévation, mais lorsque l'écoulement de cette eau de fusion est entravé, il se forme un lac qui arrive parfois à rompre la digue qui le retient et tout son contenu fait à la fois irruption dans la plaine. La dernière de ces débâcles a été la plus désastreuse : les récoltes de l'année ont été anéanties, bien des terrains ravagés antérieurement par la catastrophe du Giétroz et rendus depuis à la culture ont été de nouveau emportés, des ponts, des mou-

lins. des scieries ont été entraînés dans la Dranse : tous ces dégâts ont été taxés à fr. 110 000. On a évalué à 160 000 m³ environ, le volume de boue entraîné ainsi en un jour de la montagne jusqu'au lac. Pour empêcher le retour de ces irrups-tions, on a abaissé la digue derrière laquelle se formait le lac en creusant une tranchée dans la moraine. Le niveau du lac a été ainsi abaissé de 8 m. au moins.

Mais c'est surtout le glacier de *Giétroz* qui, à répétées reprises, a ravagé la vallée de la Dranse.

En 580 déjà, la Dranse avait subi une crue si désastreuse qu'on transféra l'évêché de Martigny à Sion ; il est probable que le glacier de Giétroz en fut la cause. Cela est prouvé d'une façon certaine, pour l'inondation du 7 août 1549 et pour celle de 1595 (le 25 juin), la plus désastreuse de toutes : 70 personnes y perdirent la vie. On en signale encore une autre en septembre 1640 et enfin la dernière en 1818, le 16 juin. Cette catastrophe se produisit après une crue du glacier qui avait duré de 1805 à 1818. La glace, en tombant de la paroi verticale à l'extrémité du glacier, formait au fond de la vallée un glacier régénéré que ni le soleil, ni l'eau ne parvenait à fondre et qui barrait la vallée. Sur les indications de Venetz, alors que pendant l'hiver 1821-22, le barrage menaçait de se reformer, on conduisit de l'eau sur cette glace au moyen de canaux en bois et on réussit ainsi à la fondre. Pour éviter le retour de pareils événements, le même ingénieur fit établir de grands barrages tout en travers de la vallée ; la surface de l'eau a été ainsi suffisamment élargie pour que la glace tombe toujours dans l'eau et se fonde à mesure, sans pouvoir s'amonceler. Lorsque la base de ces blocs de glace est rongée par les eaux, ils s'écroulent et sont entraînés.

En 1818, 500 granges et habitations avaient été emportées ; bien des champs et des prés avaient été ravinés, au point que le rocher était à nu : le dommage avait été évalué à plus d'un million de francs. (*)

(*) Ces lignes étaient à peine écrites, qu'un nouveau désastre, dû à l'activité d'un glacier, est venu ravager une commune du Valais.

Le mardi 19 mars, vers 6 h. du matin, un des glaciers suspendus

Les deux tableaux annexés à cet article donnent, le premier quelques dates chronologiques intéressant l'histoire de quelques-uns des principaux glaciers valaisans; l'autre les données recueillies annuellement depuis 1892 pour les glaciers valaisans.

Les dates du premier tableau proviennent en majeure partie des données recueillies par F. A. Forel et Richter.

Celles du second tableau sont des données officielles, résultat des observations faites par les forestiers valaisans.

Et à ce propos disons maintenant comment est organisé le service des observations sur les variations des glaciers.

Nous avons vu que les premières datent des rapports de M. F. A. Forel publiés en 1881 pour la première fois dans l'Echo des Alpes et renouvelés dès lors chaque année, depuis 1883 dans le Jahrbuch du S. A. C.

Ces rapports eux-mêmes doivent leur origine au fait que M. H. de Saussure de Genève, avait émis l'opinion que les hautes eaux du Léman durant les étés 1876-1879 étaient dues à la grande décrue des glaciers que l'on constatait à cette

au flanc N. de l'arête du Fletschhorn, s'est éboulé et est arrivé jusqu'à la route du Simplon et au torrent du Krummbach, entraînant dans sa chute une partie du glacier de Rossboden, de la neige rencontrée sur son trajet et ses moraines qui lui barraient le passage. L'énorme coulée a ainsi une longueur de 6-8 km. et une largeur d'un kilomètre environ; son épaisseur moyenne sur le cône de déjection est de 5-6 m. en moyenne, atteignant par places 20 m. et plus. Au moins 80 ha. de forêts, de champs et de pâturages sont recouverts d'un amoncellement de blocs de glace, de neige et de pierres. Quant à la masse, on peut évaluer très approximativement son volume à 4 millions de mètres cubes au moins.

Les dégâts importants ne pourront être complètement estimés qu'une fois la neige et la glace fondues — ce ne sera que dans deux ou trois ans. On a malheureusement à déplorer la mort de deux personnes. En outre, 43 pièces de gros bétail et 40 pièces de petit bétail sont restées sous l'éboulement. Une vingtaine de granges et de mazots ont été renversés, 300-400 quintaux de foin ont été perdus, toutes les forêts situées à proximité ont été ravagées par l'avalanche même ou la pression de l'air.

La neige abondante qui recouvre encore toute la région, ne permet pas encore de déterminer exactement la cause de cette catastrophe, mais le fait qu'il s'agit d'un glacier suspendu et que la masse de l'éboulement consiste surtout en glace et neige, tandis que les blocs de rochers et les pierres sont plutôt rares, permet de conclure avec une certitude à peu près complète à une rupture du glacier, dûe probablement au poids de la glace même. La cassure a, comme celle de l'Altels, la forme d'un arc de cercle.

époque. Cette hypothèse méritait d'être étudiée, car elle avait été utilisée dans le procès alors en cours entre Genève et Vaud, au sujet des eaux du Léman.

M. F. A. Forel essaya de la réfuter, mais il reconnut que les matériaux utilisables étaient rares et pour les compléter, il s'adressa aux naturalistes et aux clubistes, leur demandant leur concours pour recueillir des observations anciennes ou actuelles relatives à la grandeur des glaciers et à leurs variations. Les matériaux recueillis donnèrent naissance aux rapports mentionnés ci-dessus.

Depuis 1889, le matériel d'observations s'accrut d'une façon considérable grâce au C. A. S. valaisan qui nomma une commission présidée par M. Ant. de Torrenté, pour s'occuper de la question. Depuis 1892, le gouvernement valaisan promit son concours et les observations des glaciers furent faites, à partir de cette année, par les forestiers cantonaux valaisans.

Enfin depuis 1893, les autres cantons suisses ont suivi l'exemple du Valais et l'Inspection fédérale des Forêts recueille et analyse les observations faites dans toute la Suisse par les soins des forestiers cantonaux.

93 glaciers sont actuellement en observation.

Il faut faire une place spéciale au glacier du Rhône qui depuis 1874 est étudié d'une façon approfondie et détaillée. Ces observations ont été commencées par Ph. Gosset pour le compte du C. A. S.: maintenant leur coût est défrayé par le Bureau topographique fédéral et la Société helvétique des sciences naturelles. Ce sont donc les études et observations faites sur ce glacier pendant 25 ans — un quart de siècle — qui formeront l'objet de l'ouvrage auquel travaille actuellement M. Held, le chef du Bureau topographique fédéral, qui s'était chargé lui-même de l'exécution des observations.

Ces observations de glaciers s'étendent maintenant presque sur toute l'étendue du globe, des Alpes en Amérique et d'Italie en Norvège et jusqu'aux terres polaires. En 1894, au Congrès géologique de Zürich, on décida la création d'une Commission internationale des glaciers, qui travaille aujourd'hui activement.

SENS ET VALEUR

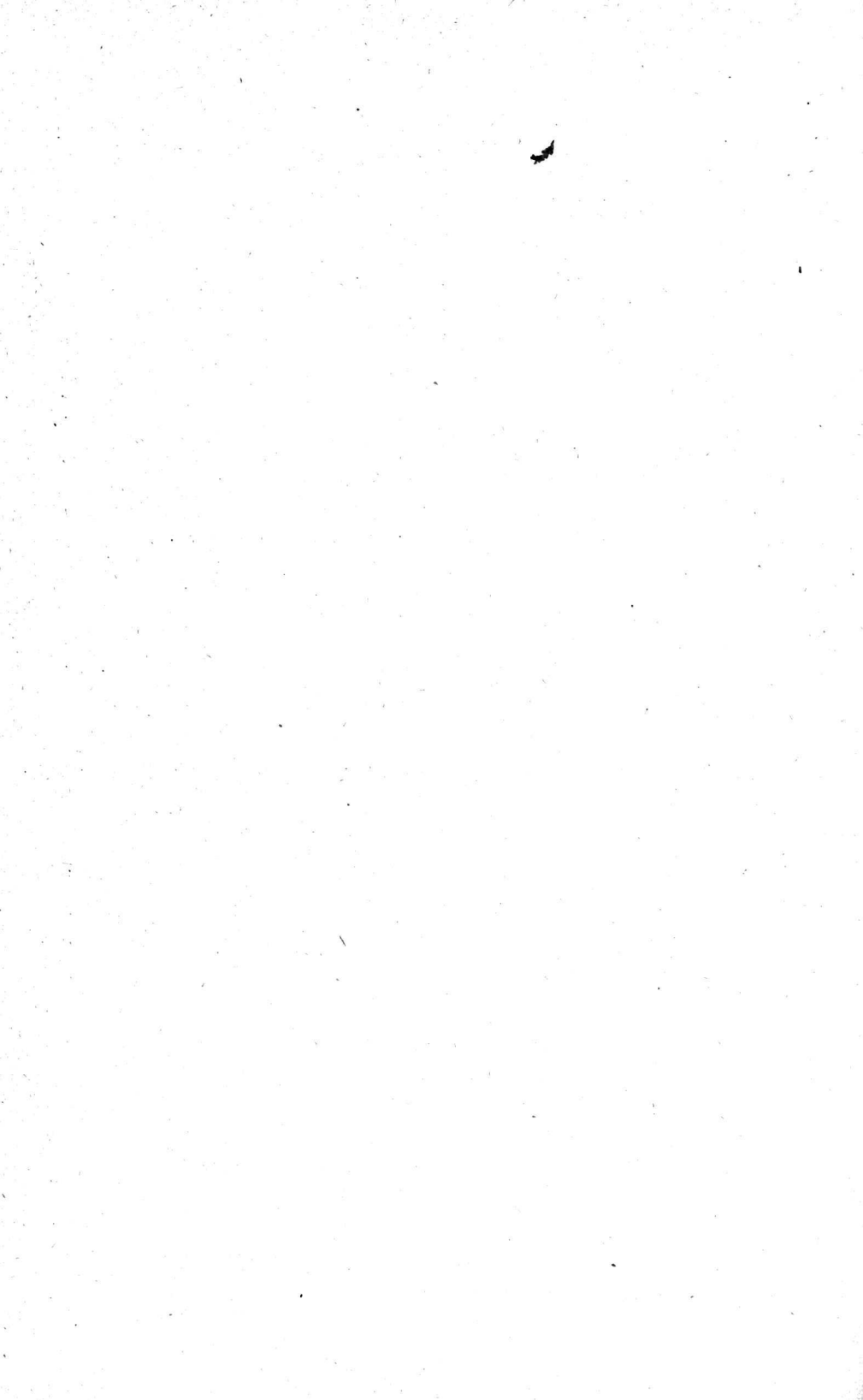
DE LA

VARIATION EN LONGUEUR DES GLACIERS DU VALAIS

dès 1892 à 1900.

(Observations des forestiers du canton.)

GLACIER	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900
	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Rhône . . .	—	—	—20	—20	—15	—12	— 5	— 9	—11
Fiesch . . .	— 6	— 4	— 5	—22	—34	— 6	— 3	— 3	— 1
Aletsch . . .	—	— 5	— 7	— 6	— 5	— 6	—10	—16	—30
Lötschen . . .		+12	+ 8	+ 7	+ 1	— 1		— 1	+ 0.30
Dala . . .			—13					+18	— 32
Zanfleuron . . .		—28	—68	—42	—38	— 7	—11	—56	+ 3
Kaltwasser . . .	— 2	— 7	— 3	—15	— 1	— 1	+12	— 2	— 2
Rosshoden . . .		+0.20	0	0	0	—0.60	—0.70	— 1	— 4
Fee . . .	+	+6	—26	— 5	— 1	0	— 1	— 3	— 2
Allalin . . .	+	+6	+ 6	— 6	— 1	—0.50	—12	— 1	— 2
Gasenried . . .					+14	+12	—15		
Findelen . . .		+30	+60		— 6	— 4	— 9	— 9	— 5
Zmutt . . .		— 5	— 3		— 9	—12	—13	—27	—12
Gorner . . .		—26	—25		— 4	— 9	— 8	— 3	— 5
Turtman . . .			+ 5	— 2	— 1	— 9	— 9	— 6	— 9
Durand (Zinal) . . .	—14	—24	—20	—100	—50	—50	—30	—60	—20
Moiry . . .	— 5	— 6	— 7	— 9	— 4	+ 3	+ 4	— 4	— 9
Ferpècle . . .	— 5	+ 4	+ 7	0	— 3	—11	—10	— 3	—11
Zijfienove . . .	+100	+102	+74	+25	+ 5	—73	—49	—43	—63
Arolla . . .	— 1	+ 5	+ 9	— 3	0	—16	— 8	—38	— 9
Gr. ^d Désert . . .	—	—15	—20	— 5	— 4	— 5	—10	—20	— 7
Monfort . . .	—	—18	—16	0	—10	0	— 4	—12	0
Corbassière . . .	—10	— 9	0	— 4	— 1	+ 7	+ 3	— 8	— 4
Durand . . .		—18	— 3	— 5	—27	— 7	—10	—15	— 5
Giétroz . . .		— 6	— 1						
Breney . . .			+		— 5	— 5			— 5
Otemma . . .	—	—17	—15	— 3	—43	— 5	—17	—31	—12
Boveyre . . .	+ 20	+20	— 9	+10	+17	+12	+14	+13	+ 9
Tseudet . . .			—	+ 3		+ 4			0
Valsorey . . .	+ 3	— 3	— 2	— 5	— 3	— 3	— 5	+ 1	— 5
Saleinaz . . .	+15	+ 8	— 4	— 2	+ 3	— 8	—23	—17	—11
La Neuvaz . . .	+ 4	0	— 5	— 4	+ 6	— 5	—19	—11	—17
Trient . . .	+	+12	+ 8	+ 2		— 1	—13	+	
Les Grands . . .	+ 4			+ 9				+	
Nombre total des glc. observés.	21	28	32	27	29	31	28	30	30
Dont en crue : soit en %	9 43	11 39	9 28	6 22	6 21	5 16	4 14	5 17	3 10
Dont en décrue : soit en %	12 57	16 58	21 66	18 66	21 72	24 78	24 86	25 83	25 83
Stationnaires	—	1	2	3	2	2	—	—	2



Quelques faits ont déjà pu être acquis à la science. Nous les donnons d'après le rapport présenté cette année au Congrès géologique de Paris, par M. le Prof. Dr Richter :

Tout d'abord, la presque totalité des glaciers est actuellement en recul, sans qu'on puisse dire encore cependant si la durée des oscillations est la même ailleurs que dans les Alpes. On a en outre constaté un fait, c'est que les variations sont beaucoup plus considérables pour les glaciers situés à l'intérieur des continents que pour ceux situés dans le voisinage des côtes. Enfin on peut aussi affirmer que les glaciers n'ont pas des allures opposées sur l'un ou l'autre hémisphère : ils reculent en même temps en Europe et en Amérique.

Pour des recherches de ce genre, le concours de tous est nécessaire : Observations personnelles ou non, anciennes ou récentes sur les variations des glaciers, sur leur activité et dates y relatives ; photographies, gravures, dessins représentant des glaciers à un moment donné de leurs phases de crue et de décrue ; observations sur l'enneigement, soit au moyen de photographies, soit par comparaison avec le dessin d'une carte topographique ;

Tout peut avoir son utilité et nous sommes sûrs que le concours de tous peut nous être assuré.

ERNEST MURET